

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-75009

(P2001-75009A)

(43) 公開日 平成13年3月23日 (2001.3.23)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマト* (参考)

G 0 2 B 21/00

G 0 2 B 21/00

2 H 0 4 5

21/36

21/36

2 H 0 5 2

26/10

1 0 7

26/10

1 0 7

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号

特願平11-253097

(22) 出願日

平成11年9月7日 (1999.9.7)

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 石渡 裕

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ

ンパス光学工業株式会社内

(74) 代理人 100065824

弁理士 篠原 泰司 (外1名)

Fターム(参考) 2H045 AC00 AC01 DA31

2H052 AA03 AA05 AA08 AC04 AC05

AC11 AC13 AC14 AC15 AC16

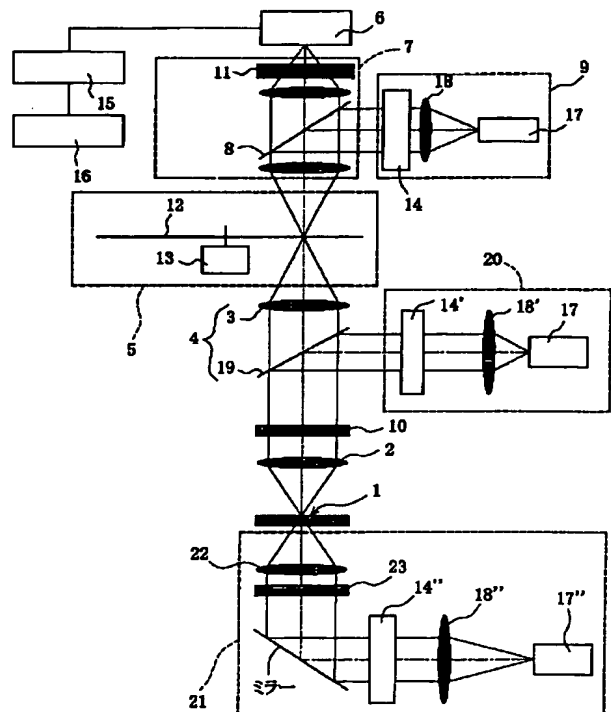
AC29 AD32 AF14 AF25

(54) 【発明の名称】 光学装置及び顕微鏡

(57) 【要約】

【課題】 高解像でセクショニング効果が高く、出力画像を得るまでの時間を短縮化でき、光を強く散乱する物体の内部を、蛍光色素を付加することなく観察可能で、振動等に強く高解像で観察可能であり、更に、半導体ウェハー上に形成されたICパターンの積層構造をも観察可能な光学装置及び顕微鏡を提供する。

【解決手段】 光源17と、照明光学系21と、結像光学系4と、光を透過する領域と光を遮光する領域で形成された開口領域を有する回転可能な開口部材12と、分波および合波手段10、23と、偏光抽出手段11と、撮像素子6と、画像処理装置15、16と、位相変化装置14を備え、前記偏光成分の位相差量がほぼ同じで符合の異なる少なくとも2枚の微分干渉画像から各画素毎に差演算を行って差画像を形成するようにした。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】光源と、

該光源からの光を被観察物体に導く照明光学系と、
被観察物体の像を拡大投影する結像光学系と、
結像光学系の結像面又はその共役面上に配置され、光を透過する領域と光を遮光する領域で形成された開口領域を有する回転可能な開口部材と、
前記光源からの光を互いに直交する偏光成分に分波する分波手段と、
前記結像光学系内に配置され前記分波手段によって分波された偏光成分を合波する合波手段と、
前記結像光学系内の合波手段と像面との間に配置された特定の偏光成分のみを抽出する偏光抽出手段と、
前記結像光学系の結像面に投影された被観察物体の拡大像を撮像する撮像素子と、
該撮像素子によって得られた画像を記憶し、該画像を用いて演算するための画像処理装置と、
前記光源から前記分波手段の間又は前記合波手段から前記撮像素子の間に配置された互いに直交する偏光成分の位相差を変化させる位相変化装置を備え、
前記開口部材の透過領域と遮光領域は開口部材の回転中心近傍から周辺近傍にわたって形成された境界を有し、
前記偏光成分の位相差量がほぼ同じで符合の異なる少なくとも 2 枚の微分干渉画像から各画素毎に差演算を行って差画像を形成するようにしたことを特徴とする光学装置。

【請求項 2】光源と、

該光源からの光を被観察物体に導く照明光学系と、
被観察物体の像を拡大投影する結像光学系と、
結像光学系の結像面又はその共役面上に配置され、光を透過する領域と光を遮光する領域で形成された開口領域を有する回転可能な開口部材と、
前記光源からの光を互いに直交する偏光成分に分波する分波手段と、
前記結像光学系内に配置され前記分波手段によって分波された偏光成分を合波する合波手段と、
前記結像光学系内の合波手段と像面との間に配置された特定の偏光成分のみを抽出する偏光抽出手段と、
前記結像光学系の結像面に投影された被観察物体の拡大像を撮像する撮像素子と、
該撮像素子によって得られた画像を記憶し、該画像を用いて演算するための画像処理装置と、
前記光源から前記分波手段の間又は前記合波手段から前記撮像素子の間に配置された互いに直交する偏光成分の位相差を変化させる位相変化装置を備え、
前記開口部材の透過領域と遮光領域は開口部材の回転中心近傍から周辺近傍にわたって形成された境界と同心円状に形成された境界とを有し、
前記偏光成分の位相差量がほぼ同じで符合の異なる少なくとも 2 枚の微分干渉画像から各画素毎に差演算を行っ

て差画像を形成するようにしたことを特徴とする光学装置。

【請求項 3】光源と、

該光源からの光を被観察物体に導く照明光学系と、
被観察物体の像を拡大投影する結像光学系と、
前記照明光学系の瞳位置に配置された開口と、
前記照明光学系に配置された開口と前記被観察物体を介して共役な位置に配置された前記開口と相似な位相膜とを備え、
前記結像光学系の結像面又はその共役面上に時間的に位置が変化する複数の微小開口群からなる開口部材を配置したことを特徴とする顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】本発明は、生体等の生物標本内部および半導体ウエハー等に形成された IC パターンの構造を観察するための顕微鏡及びその顕微鏡を用いた観察装置等の光学装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】生体内部の微細構造の観察や半導体パターンの構造解析には高解像でセクショニング効果の大きい顕微鏡が要望されている。従来、高解像でセクショニング効果が大きい顕微鏡には、被観察物体と共役な位置に共焦点ピンホールを配置した共焦点顕微鏡があり、この共焦点顕微鏡には、レーザ走査型共焦点顕微鏡と Nipkow Disk 走査型共焦点顕微鏡という 2 つの方式の顕微鏡が知られている。

【0003】レーザ走査型共焦点顕微鏡は、被観察物体上をレーザビームが走査するため、被観察物体の観察画像を得るのに比較的長い走査時間が必要になる。この走査時間を短縮化するよう改善した共焦点顕微鏡が、Nipkow Disk 走査型共焦点顕微鏡である。しかし、Nipkow Disk 走査型共焦点顕微鏡においても、十分な共焦点効果を得るためには Nipkow Disk 上に形成された共焦点ピンホールの間隔を十分広く取る必要があるため、光源からの光の利用効率が悪くなるという問題点が生じてしまう。

【0004】この Nipkow Disk 走査型共焦点顕微鏡の問題点を改善した顕微鏡として、「Confocal microscopy by aperture correlation, T. Wilson, R. Juskaitis, M. A. A. Neil and M. Kouzubev, OPTICS LETTERS, Vol. 21, No. 23, p1879-1881」に示されている方式の共焦点顕微鏡がある。この共焦点顕微鏡は、共焦点ピンホールの配列をランダムにすることにより光源からの光の利用効率を改善するとともに、それによって発生する共焦点効果の低下を、ランダムピンホールを介して撮像した画像とピンホールを配置せずに撮像した明視野画像とを取り込みそれらの差演算を行うことにより改善している。

【0005】また近年、生体内部のような、光を強く散

乱する物体の構造を観察する方法についての研究が進められてきており、その観察手法として、低コヒーレンス干渉法による手法が、特開平11-23372号公報をはじめとして多く開示されている。

【0006】また、低コヒーレンス干渉法とは別に、被観察物体の画像情報から位相情報のみを抽出する方法として、本発明者による特開平7-225341号公報及び特開平9-15504号公報等の開示された方法がある。特に、特開平9-15504号公報に記載の微分干渉顕微鏡は、位相変調型微分干渉顕微鏡として、H. Ishi- 10 wata, M. Itoh and T. Yatagai, Proc. SPIE, Vol. 2873, p21-24(1996)等にその効果が示されている。

【0007】また、レーザ走査型顕微鏡を用いて位相情報を抽出する方法として、特開平9-15503号公報等の開示されている方法がある。

【0008】更に、Nipkow Disk走査型共焦点顕微鏡と微分干渉顕微鏡とを組合せて、リアルタイム共焦点微分干渉顕微鏡を実現した例が、Differential interference contrast imaging on a real time confocal scanning optical microscope, T.R. Corle and G.S. Kino, APPLIED OPTICS, Vol. 29, No. 26, p3769-3774に 20 開示されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明者による特開平7-225341号公報及び特開平9-15504号公報等の開示された観察方法によれば、被観察物体の観察画像から位相情報のみを抽出することができるので、生体や半導体試料に対して高コントラストな画像を得ることができる。また、位相情報を検出するので、光の強度を検出する従来の顕微鏡に比べて高いセクショニング効果がある。 30

【0010】この手法とNipkow Disk走査型共焦点顕微鏡とを組合せることにより、コントラストとセクショニング効果を更に向上させることができることが、Differential interference contrast imaging on a real time confocal scanning optical microscope, T.R. Corle and G.S. Kino, APPLIED OPTICS, Vol. 29, No. 26, p3769-3774に開示されている。しかし、Nipkow Disk走査型共焦点顕微鏡に潜在する光源からの光の利用効率に関する問題点を改善することについては何ら示されていない。 40

【0011】また、特開平7-225341号公報及び特開平9-15504号公報等の開示されている位相検出技術と、Confocal microscopy by aperture correlation, T. Wilson, R. Juskaitis, M.A.A. Neil and M. Kuzubek, OPTICS LETTERS, Vol. 21, No. 23, p1879-1881に示されている方式の共焦点顕微鏡とを組合せることにより、光源からの光の利用効率に関する問題点を改善することができる。しかし、ランダムピンホールによる画像と明視野画像とをそれぞれ位相を反転させた状態で 50

撮像しなくてはならず、1つの共焦点画像を得るまでに4枚の画像情報が必要になり、共焦点画像を得るまでの時間がかかるという問題点が残ってしまう。

【0012】また、共焦点顕微鏡は高解像でセクショニング効果が大きい顕微鏡であるが、生体標本のような低反射率の被観察物体に対しては、蛍光色素を付加した蛍光観察に用いられ、被観察物体を透過観察することや蛍光色素を付加せずに観察することが難しい。その理由として、生体標本の内部では光が強く散乱されるということが考えられている。

【0013】その点に関し、上述のように、特開平11-23372号公報等の開示されている低コヒーレンス干渉法を用いれば、生体内部のような、光を強く散乱する物体の内部観察が可能である。しかし、この低コヒーレンス干渉法を用いても、構成される光学系が共通光路型光学系ではなく振動等に弱いという問題点と、干渉計測をそのまま用いているので横分解能が低いという問題点と、装置が大掛かりになるという問題点が残る。

【0014】本発明は、これらの問題点を鑑みてなされたものであり、高解像でセクショニング効果が高く、出力画像を得るまでの時間を短縮化した光学装置及び顕微鏡を提供することを目的とする。また本発明は、生体内部のような、光を強く散乱する物体の内部を、蛍光色素を付加することなく観察可能で、更に振動等に強く高解像で観察可能な光学装置及び顕微鏡を提供することを目的とする。更に本発明は、生体内部の観察のみならず半導体ウエハー上に形成されたICパターンの積層構造をも観察可能な光学装置及び顕微鏡を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため本発明による光学装置は、光源と、該光源からの光を被観察物体に導く照明光学系と、被観察物体の像を拡大投影する結像光学系と、結像光学系の結像面又はその共役面上に配置され、光を透過する領域と光を遮光する領域で形成された開口領域を有する回転可能な開口部材と、前記光源からの光を互いに直交する偏光成分に分波する分波手段と、前記結像光学系内に配置され前記分波手段によって分波された偏光成分を合波する合波手段と、前記結像光学系内の合波手段と像面との間に配置された特定の偏光成分のみを抽出する偏光抽出手段と、前記結像光学系の結像面に投影された被観察物体の拡大像を撮像する撮像素子と、該撮像素子によって得られた画像を記憶し、該画像を用いて演算するための画像処理装置と、前記光源から前記分波手段の間又は前記合波手段から前記撮像素子の間に配置された互いに直交する偏光成分の位相差を変化させる位相変化装置を備え、前記開口部材の透過領域と遮光領域は開口部材の回転中心近傍から周辺近傍にわたって形成された境界を有し、前記偏光成分の位相差量がほぼ同じで符合の異なる少なくとも2枚の

微分干渉画像から各画素毎に差演算を行って差画像を形成するようにしたことを特徴とする。

【0016】また本発明による光学装置は、光源と、該光源からの光を被観察物体に導く照明光学系と、被観察物体の像を拡大投影する結像光学系と、結像光学系の結像面又はその共役面上に配置され、光を透過する領域と光を遮光する領域で形成された開口領域を有する回転可能な開口部材と、前記光源からの光を互いに直交する偏光成分に分波する分波手段と、前記結像光学系内に配置され前記分波手段によって分波された偏光成分を合波する合波手段と、前記結像光学系内の合波手段と像面との間に配置された特定の偏光成分のみを抽出する偏光抽出手段と、前記結像光学系の結像面に投影された被観察物体の拡大像を撮像する撮像素子と、該撮像素子によって得られた画像を記憶し、該画像を用いて演算するための画像処理装置と、前記光源から前記分波手段の間又は前記合波手段から前記撮像素子の間に配置された互いに直交する偏光成分の位相差を変化させる位相変化装置を備え、前記開口部材の透過領域と遮光領域は開口部材の回転中心近傍から周辺近傍にわたって形成された境界と同心円状に形成された境界とを有し、前記偏光成分の位相差量がほぼ同じで符号の異なる少なくとも2枚の微分干渉画像から各画素毎に差演算を行って差画像を形成するようにしたことを特徴とする。

【0017】また本発明による顕微鏡は、光源と、該光源からの光を被観察物体に導く照明光学系と、被観察物体の像を拡大投影する結像光学系と、前記照明光学系の瞳位置に配置された開口と、前記照明光学系に配置された開口と前記被観察物体を介して共役な位置に配置された前記開口と相似な位相膜とを備え、前記結像光学系の結像面又はその共役面上に時間的に位置が変化する複数の微小開口群からなる開口部材を配置したことを特徴とする。

【0018】

【発明の実施の形態】本発明の具体的な実施形態の説明

$$I(x, \theta) = \cos \theta \cdot B(x) + \sin \theta \cdot P(x) \quad \dots \dots (1)$$

で表すことができる。ここで、 $B(x)$ は被観察物体の強度情報で明視野画像が対応し、 $P(x)$ は被観察物体の位相分布を表した位相情報で、微分干渉像が対応する。 θ は微分干渉顕微鏡における2つの偏光成分の位相差量、又は、位相差顕微鏡の位相膜で与えられる位相変化量を表している。従って、位相差量がほぼ同じで符号の異なる $\pm \theta$ の2つの微分干渉画像又は位相差画像を撮像し、その差画像を形成することにより、微分干渉画像又は位相差画像から位相情報を抽出することができる。

【0022】位相差顕微鏡や微分干渉顕微鏡によって形成される画像は、被観察物体の焦点深度内の位相分布のみが位相情報として画像化される。それ以外の焦点深度を越えた範囲の位相分布は結像光学系のデフォーカス特性により、画像を形成する光の位相がランダムな状態に

に先立ち、本発明の作用について説明する。

【0019】作用

共焦点顕微鏡の原理を図1、図2を用いて説明する。図1に示すように、結像光学系において被観察物体面101と共役な位置に開口102を配置し、この開口102を介して観察物体の像を観察するように構成すると、例えば破線で示すような、開口102と共役な位置以外からの光は開口102の遮光部分で遮られて強度が低下する。また、図2に示すように、照明光学系103内にも開口102'を配置し、点像で被観察物体を照明するように構成すると、照明光学系103内に配置された開口102'と共役な位置以外の場所では照明光の強度が著しく減衰する。そこで、照明光学系103内に配置されている開口102'と結像面に配置されている開口102とを共通にすることにより、点像で照明された被観察物体面101からの光とそれ以外の位置からの光とで著しい強度差が生じ、共焦点効果がもたらされることとなる。そして、この開口102を走査することにより被観察物体面101上の各点で共焦点効果を得ることができるというものである。この開口を走査する方法として、被観察物体面101と共役な位置にNipkow Diskを配置し、このNipkow Diskを回転させる方法がある。このような方法で開口を走査するように構成された上記顕微鏡は、Nipkow Disk走査型共焦点顕微鏡と呼ばれている。

【0020】また、本発明者は、部分的コヒーレント結像理論を用いて顕微鏡の結像特性を解析し、微分干渉顕微鏡及び位相差顕微鏡の結像特性を明らかにした。その結果は、特開平7-225341号公報、特開平9-15504号公報及び「H. Ishiwata, M. Itoh and T. Yata gai, Proc. SPIE, Vol. 2873, p21-24(1996)」等に詳細に開示されている。

【0021】本発明者が解析した結果から、微分干渉顕微鏡及び位相差顕微鏡による被観察物体の画像情報

$I(x)$ は、以下の(1)式

なり明視野情報と同様の強度情報に変わる。従って、位相差顕微鏡や微分干渉顕微鏡によって形成される画像の位相成分には、被観察物体の焦点深度内の位相分布情報のみが含まれる。

【0023】よって、位相差顕微鏡や微分干渉顕微鏡によって形成された画像から位相成分を抽出すれば、焦点深度内の位相分布のみを求めることができる。また、強度情報は結像面内に開口部材を配置することにより、開口部材と共役な位置以外からの光を遮ることができ、余分な強度情報を取除くことができる。

【0024】従って、結像光学系の結像面内に配置した開口部材を介して得た画像を撮像することにより、被観察物体の開口部材と共役な位置以外からの光を遮ることができ、この画像から位相情報を抽出する際に強度情報

の影響を小さくすることができ、そして、位相抽出の S/N をよくすることができる。

【0025】この開口部材にはその共役点以外からの強度情報を小さくする効果があり、Nipkow Disk等を用いることができる。しかし、開口部材の製作性を考慮すると開口部材の開口パターンは格子状やスリット状あるいは微小円形状などの単純な形状が望ましい。

【0026】また、インコヒーレントな照明下で被観察面上の各点の位相を検出する場合は、共焦点顕微鏡における点像照明の場合と同様に被観察面上の各点が独立な状態の照明になり、結像面上もしくはその共役面上に配置された開口部材内の微小開口群を介して位相情報を抽出することで、共焦点顕微鏡と同等な効果が得られる。

【0027】特に、被観察物体の前後に散乱物体がある場合、散乱物体を透過した光の一部は、散乱物体で散乱

$$F(x, t) = S(x) + \alpha(t) \cdot B(x) \quad \dots\dots (2)$$

ここで、 $F(x, t)$ は開口の間隔が狭まったときの強度分布、 t は開口の間隔、 $S(x)$ は共焦点画像、 $\alpha(t)$ は開口の間隔によって決まる定数、 $B(x)$ は明視野画像の強度分布を表す。よって、共焦点開口の間隔が狭まった時でも、明視野画像 $B(x)$ を予め記憶し、(2)式の $\alpha(t)$ を適当に選んで演算を行うことにより共焦点画像 $S(x)$ を求めることができる。

【0029】微分干渉顕微鏡や位相差顕微鏡においてもNipkow Disk走査型共焦点顕微鏡と組合せた場合には、通常のNipkow Disk走査型共焦点顕微鏡と同様の特性を持つと考えられる。そして、共焦点開口の間隔が狭まった時の非共焦点画像の漏れ込み特性も同様になると考えられる。よって、共焦点開口の間隔が狭まったときでも明視野画像 $B(x)$ を予め記憶しておいて演算することにより、共焦点画像 $S(x)$ を得ることができる。

【0030】そして、本発明者による特開平7-225341号公報及び特開平9-15504号公報等に開示された位相差顕微鏡及び微分干渉顕微鏡とT.Wilson等が示す共焦点顕微鏡とを組合せると、(1)式から位相差量がほぼ等しく符号が異なる $\pm\theta$ の2枚の画像を差演算することにより、位相情報を分離抽出することができる。この場合、T.Wilson等が示す方法を用いて形成した共焦点画像から差画像を形成すれば、共焦点効果のある位相情報の分離抽出が可能になる。しかし、差画像を形成することで同時にボケ像成分を含む明視野情報を除去することができるので、T.Wilson等が示す演算処理を行なわなくとも、ボケ像成分を含む $\pm\theta$ の2枚の画像から差画像を形成するだけで、共焦点効果を持った位相差画像及び微分干渉画像を得ることができる。また、T.Wilson等が示す共焦点顕微鏡は共焦点開口の間隔を狭められるので、光源の利用効率を向上させることができ、 S/N の良い位相情報を得ることができる。しかし、T.Wilson等は共焦点開口の間隔が狭まった場合には、ボケ像成

され、位相がランダムな状態の光になり、明視野成分と同様の振る舞いをする。生体内部のような光を散乱する程度が大きい物体を観察する場合、結像面と共役な位置に開口部材の微小開口群を配置することで前後の散乱光の影響を小さくすることができる。そして、微小開口群を介して得られた散乱光の影響が小さい画像から位相情報を抽出することで、散乱光が多く残っている画像から位相情報を抽出するのに比べて、 S/N のより良い位相情報を得ることができる。

【0028】また、「Confocal microscopy by aperture correlation, T.Wilson, R.Juskaitis, M.A.A.Neil and M.Kouzubek, OPTICS LETTERS, Vol. 21, No. 23, pl 879-1881」に開示されているように、共焦点顕微鏡において共焦点開口の間隔が狭まると以下の(2)式に示すように明視野画像の漏れ込みが生じる。

分を取除くためには開口の配列をランダムにすることを必要としているため、開口部材の製作が難しくなる。その点、本発明では、ボケ像成分は強度情報と同様の特性を持つことから、 $\pm\theta$ の2枚の画像から差画像を形成することにより取除かれ、その効果は開口部材内の微小開口群の形状や配列に依存されない。よって、微小開口群を加工しやすいスリットや格子状に形成しても同様の効果が得られる。

【0031】従って、本発明によれば、微分干渉顕微鏡を構成することにより、光源からの光の利用効率を改善することができる。また、共焦点効果のある位相情報を得るために、位相差量が同じで符号が反転している $\pm\theta$ の2枚の画像を用いるだけで済むので、共焦点効果のある位相情報を得るための処理速度を従来のものに比べて倍程度速くすることができる。さらに、開口部材の微小開口群の形状を簡単にすることができるので、開口部材の製作を容易にすることができる。

【0032】T.R. Corle等は、Nipkow Disk走査型共焦点顕微鏡において、位相差量が π 異なる2つの微分干渉画像から差画像を形成することにより位相情報が抽出できることを示している。しかし、T.R. Corle等の方法では、位相差量が $\pi/2$ と $3\pi/2$ のとき以外の条件では、差画像を形成しても位相情報を抽出することはできない。このため、Nipkow Disk走査型共焦点微分干渉顕微鏡から共焦点効果のある位相情報を抽出する一般的な方法は開示されていない。特に、シア量を小さくした場合などは、位相差量を $\pi/2$ にすることにより微分干渉画像の位相成分を最大にすることはできるが、明視野成分の影響が大きく、撮像素子のダイナミックレンジから位相抽出の S/N を良くすることができない。このようにシア量を小さくした場合は、位相抽出の S/N を良くするためには位相量を $\pi/2$ より小さい値にする必要がある。

【0033】そこで、開口部材の回転方向に沿う所定範

囲に遮光領域を作れば、光が遮光領域を通過する際に位相変化装置の位相状態を反転させることができ、位相変化装置の位相状態が変化している間撮像面を遮断することができ、位相抽出の S/N を更に向上させることが可能になる。

【0034】また、照明光学系からの光と結像光学系からの光とが共通の開口部材を透過するようにする構成と位相差量が π 異なる 2 つの微分干渉画像から差画像を形成する方法とを組合せれば、共焦点微分干渉顕微鏡を構成することができ、位相抽出の S/N をより向上させることができる。

【0035】微分干渉顕微鏡では偏光成分の分離方向をシア方向と呼び、このシア方向に微分した位相情報が画像として得られる。よって、このシア方向が位相検出に関する感度が一番高くなる方向である。共焦点顕微鏡では開口の移動時間が共焦点効果を左右するので、開口の移動方向とシア方向とを一致させれば、位相検出の感度を一番良くすることができ、感度の良い検出が可能になる。

【0036】位相差顕微鏡においても微分干渉顕微鏡と同様に、結像光学系の結像面又はその共役面上に時間的に位置が変化する複数の微小開口群からなる開口部材を配置した構成にすれば、被観察面以外からの光を除去することができる。特に生体内部のような散乱度合いの大きな物体を観察する場合に、前後の層からの散乱光の影響を小さくすることができる。

【0037】また、位相膜の位相量が可変となるように構成すれば、位相差顕微鏡において位相抽出が可能になる。

【0038】また、結像光学系の結像面又はその共役面に配置された開口部材を介し被観察物体の拡大像を撮像する撮像素子を配置し、位相膜の位相差量がほぼ同じで符号の異なる少なくとも 2 つの位相差像を撮像し、撮像した位相差像の各画素毎の差演算を行って差画像を形成するように構成すれば、散乱光の影響の小さい画像から位相情報を抽出することが可能になり、 S/N の良い位相検出が可能になる。そして、共焦点効果のある位相差像を観察することができる。

【0039】また、照明光学系からの光と結像光学系からの光が共に開口部材を透過するように構成すれば、共焦点照明を行うことにより共焦点位相差顕微鏡が構成でき、更に共焦点効果を向上させることができ、 S/N の高い位相抽出が可能になる。

【0040】また、開口部材の開口形状を、格子状の微小開口群、スリット状の微小開口群、不規則配置された微小開口群、または複数の微小円形開口群などを有した形状に形成すれば、開口形状を簡素化することができ、開口部材の製作性を向上させることができる。

【0041】また、開口部材の回転方向に沿う所定範囲に遮光領域を作れば、光が遮光領域を通過する際に位相

変化装置の位相状態を反転させることができ、位相変化装置の位相状態が変化している間、撮像面を遮断することができ、位相抽出の S/N を向上させることができる。

【0042】また、光源にストロボ光源のような時間的に変調を与えられる光源を用いて時間的に強度が変化する照明を行う。このような時間的に強度が変化するインコヒーレント照明下で、開口部材内の微小開口群を介して位相抽出するようにすれば、位相抽出を行うための微分干渉画像及び位相差画像を検出する際の観察点以外の点からの漏れ光の影響を小さくすることができ、位相抽出の S/N を向上させることができる。そして、位相抽出によって得られた画像の共焦点効果を向上させることができる。

【0043】更に、光源の強度変化と開口部材内の微小開口群の移動とを同期させるようにすれば、位相抽出を行うための微分干渉画像及び位相差画像を検出する際の観察点以外の点からの漏れ光の影響を小さくすることができ、位相抽出の S/N を向上させることができる。そして、位相抽出によって得られた共焦点効果を向上させることができる。

【0044】また、生体等の散乱物質内の位相分布を検出する場合、散乱光の影響を取除いた位相情報の検出が可能になる。

【0045】次に、上記のように構成した本発明の具体的な実施形態について説明する。

【0046】第 1 実施形態

図 3 は本発明の第 1 実施形態を示す微分干渉顕微鏡の概略構成図である。なお、本実施形態における顕微鏡は、被観察物体（標本）1 からの光を対物レンズ 2 で平行光束にし、結像レンズ 3 によって観察物体の像を形成する無限遠補正光学系を結像光学系 4 内に構成しており、通常の正立型顕微鏡の構成となつている。

【0047】まず、本実施形態の照明光学系に共焦点照明光学系を用いた場合について説明する。結像レンズ 3 の焦点位置、即ち、結像光学系 4 の結像面又はその共役面上に、開口領域に微小開口群を備えた開口部材である開口パターンディスク 12 を配置し、開口パターンディスク 12 の微小開口群を透過した光を撮像素子 6 の受光面上に結像するようにリレー光学系 7 を配置する。リレー光学系 7 内にはハーフミラー 8 を配置し、共焦点照明光学系 9 によりハーフミラー 8 と開口パターンディスク 12 を介して観察物体（標本）1 の面を共焦点照明できるように構成する。更に、結像光学系 3 内には分波及び合波手段としてノマルスキープリズム 10 を配置して、光源からの光を互いに直交する偏光成分に分波すると共に、分波された偏光成分が標本 1 で反射されて入射したときにその分波された偏光成分を合波するようにし、また、標本リレー光学系 7 内には偏光抽出手段として検光子 11 を配置して、合波された偏光成分のうち特定の偏

光成分のみが抽出されるようにして、落射微分干渉観察が可能のように構成する。

【0048】走査ユニット5は、微小開口群が形成された開口パターンディスク12と開口パターンディスク12を回転させるためのモータ等の回転駆動装置13とで構成されている。開口パターンディスク12は、微小開口群で光を透過し、それ以外の領域で光を遮光するように構成されている。開口パターンディスク12にNipkow Diskを用いれば、Nipkow Disk走査型共焦点微分干渉顕微鏡を構成することができるようになっている。

【0049】また、共焦点照明光学系9内には、互いに直交する偏光成分の位相差を変化させる位相変化装置14を配置する。また、撮像素子6によって撮像された観察物体の画像を記憶・演算するための記憶・演算装置15と演算した画像を表示するための表示装置16を付加する。なお、共焦点照明光学系9は、光源17と、集光レンズ18を備えている。

【0050】開口パターンディスク12の微小開口群の開口パターンとしては、図5(a)に示すような、開口パターンディスク12の回転中心近傍からその外周近傍にわたって放射状に透過領域および遮光領域を回転方向に沿って交互に設けた、スリット状の開口パターン、図5(c)に示すような、開口パターンディスク12の回転中心近傍からその外周近傍にわたって放射状に透過領域および遮光領域を回転方向に沿って交互に形成し、その境界が開口パターンディスク12の回転中心近傍からその外周近傍にわたり、かつ、同心円状に形成された、格子状の開口パターン、図5(e)に示すような、格子上に形成された円形の開口パターンを用いる。そして、位相変化装置14によりリターデーション量が $\pm\theta$ である2枚の微分干渉画像を撮像し、記憶・演算装置15により2つの画像情報の対応した各画素毎に差演算を行い差画像を形成する。このように構成することにより、Nipkow Disk走査型共焦点顕微鏡で問題となっていた光源からの光の利用効率を改善することができる。また、差画像を形成することにより同時に明視野成分を除去することができるので、図5(a)、(c)、(e)に示す簡素な微小開口群構成でT. Wilson等が開示している手法と同等な効果を得ることができる。

【0051】この場合、開口パターンディスク12として、図5(a)に示す形状のものを用いると、光源からの光の利用効率を最も改善することができる。しかし、スリットの開口方向の共焦点効果は低くなる。図5(c)及び(e)に示す開口形状の開口パターンディスク12を用いると、図5(a)に示すものに比べて光の利用効率は下がるが、共焦点効果を改善することができる。なお、図3において記載を省略したが、位相変化装置14、走査ユニット5の回転駆動装置13、撮像素子6、記憶・演算装置15を総合的に制御する制御装置（コンピュータ

等)を用いれば、画像を表示するまでの処理時間を短縮することができる。

【0052】更に、図5(b)、(d)、(f)に示すように、開口パターンディスク12に回転方向に沿って遮光領域12aを設ければ、遮光領域12aでリターデーション量を変化させることにより、位相変化装置14の位相状態が変化している間、撮像面を遮断することができ、リターデーション量が増加している時の画像の影響を低減することができる。

【0053】また、標本1が生体内部のような光を強く散乱する度合いの大きい物体の場合、共焦点照明を行っても散乱の影響により共焦点照明が広がり、共焦点開口の間隔を狭めたのと同様に共焦点効果の低下が生じる。しかし、散乱光は位相がランダムな状態になると考えられ、明視野と同じ強度情報として扱うことができる。そこで、散乱の度合いの大きい物体を共焦点照明する場合であっても、差画像を形成して位相検出を行えば、散乱の影響を除去することができ、共焦点効果を向上させることができる。

【0054】但し、生体内部のような散乱の大きな物体を共焦点照明によって観察する場合には、散乱による位相成分の強度低下を補うためにも光源の光の利用効率を改善する必要がある。従って、図5で示すような開口パターンディスク12を用いて光源の光の利用効率を改善することにより、生体内部のような散乱の大きな物体を観察する時に散乱光の影響を低減することができる。

【0055】次に、本実施形態の照明光学系に落射照明光学系を用いた場合について説明する。結像光学系4の対物レンズ2と結像レンズ3の間にハーフミラー19を配置し、ハーフミラー19を介して落射照明光学系20により落射照明を行える構成にする。なお、落射照明光学系20は、光源17'と集光レンズ18'と位相変化装置14'を備えている。

【0056】落射照明光学系20により落射照明された標本1からの光を、開口パターンディスク12の微小開口群を介して撮像素子6により撮像できるよう微分干渉顕微鏡を構成する。この場合、上述の共焦点照明光学系を用いた場合と同様に、落射照明光学系20内に配置した位相変化装置14'を用いてリターデーション量を変化させ、 $\pm\theta$ の微分干渉画像を撮像し差画像を形成して、位相情報を抽出する。

【0057】落射照明を用いると、標本1内は3次元的に均一な照明が行われることになるため、光の強度情報を観察する場合には、標本1内において注目している被観察面以外からの光の影響を受けることになる。しかし、位相情報を検出する場合には、結像光学系の焦点深度を超えた光は位相がランダムな状態になり、強度情報として振る舞う。ここで、差画像を形成して位相情報を抽出すると、焦点深度を越えた範囲の光についても強度情報と同様に除去することができる。よって、差画像を

形成することにより、焦点深度内の情報のみを抽出することができる。

【0058】また、インコヒーレントに近い部分的コヒーレントな光で照明された被観察物体面上の位相分布は、共焦点照明された場合と同様に空間的に独立なインコヒーレント状態になる。これを開口パターンディスク12の微小開口群を介して位相検出することにより、共焦点顕微鏡と同様な効果を得ることができる。更に、開口パターンディスク12の微小開口群を介して画像を撮像することで、図1で示したように焦点深度を越えた範囲の光を減衰させることができるので、撮像する微分干渉画像の強度情報成分を減衰させることができ、抽出する位相情報のS/Nを向上させることができる。従って、通常の落射照明を用いても開口パターンディスク12の微小開口群を介して検出した画像から、差画像を形成することにより、共焦点顕微鏡と同等の効果を得ることができる。

【0059】次に、本実施形態の照明光学系に透過照明光学系を用いた場合について説明する。図3に示すように、標本1を透過照明できるように透過照明光学系21を設け、コンデンサーレンズ22の瞳位置に分波手段としてノマルスキープリズム23を配置し、光源17からの光を互いに直交する偏光成分に分波するようにし、分波された偏光成分がノマルスキープリズム10で合波されるようにして、透過型微分干渉顕微鏡を構成する。なお、透過型照明光学系21は、光源17と集光レンズ18と位相変化装置14を備えて構成されている。

【0060】透過照明を用いた場合でも、落射照明を用いた場合と同様に、開口パターンディスク12の微小開口群を介して検出した画像から、差画像を形成することにより共焦点顕微鏡と同等の効果を得ることができる。そして、従来は難しいとされていた透過型の共焦点顕微鏡と同等な観察を行うことができる。

【0061】なお、共焦点照明光学系を用いた場合において微小開口形状のパターンを図5(a)~(f)に示したが、透過照明及び落射照明を用いた場合には、共焦点照明に比べて光の利用効率が格段に良いので、開口パターンディスク12にNipkow Diskを用いても十分な光量を得ることができ、明るい、共焦点照明顕微鏡と同等な効果を持つ画像を得ることができる。また、図5

【0062】なお、本実施形態に用いる位相変化装置の構成例を図6(a)~(d)に示す。図6(a)に示す位相変化装置は、 $\lambda/4$ 板24を固定し、光軸を中心に回転可能な偏光子25にモータ等の駆動装置26を接続して回転制御できるようになっている。またその場合、偏光子25の回転角とリターデーション量とを対応させるよう

になっている。図6(b)に示す位相変化装置は、 $\lambda/4$ 板24及び偏光子25を固定し、 $\lambda/4$ 板24と偏光子25の間に液晶素子27を配置し、液晶素子27に液晶制御装置28を接続して、液晶素子27に印加する電圧を変化させて液晶素子27を透過した偏光の振動方向を回転させるようになっている。またこの場合、液晶素子27に印加する電圧を変化させてリターデーション量を変化させるようになっている。図6(c)に示す位相変化装置は、図6(b)の構成から $\lambda/4$ 板24を無くし、 $\lambda/4$ 板24の機能を図3に示すノマルスキープリズム10に持たせるようにしたものである。図6(d)に示す位相変化装置は、図6(c)の構成から液晶素子27、液晶制御装置28の代わりに電気光学素子29、制御装置30を設けたものであり、電気光学素子29に与える電気特性を変えることによりリターデーション量を変化させるようになっている。

【0063】なお、図3に示す実施形態では、位相変化装置14、14'、14"をそれぞれ照明光学系9、20、21内に配置しているが、説明の便宜上このように配置したものであり、図3におけるリレー光学系7の検光子11と位相変化装置14、14'、14"を入替えても同様の効果を得ることができる。

【0064】なお、微分干渉顕微鏡では位相検出の感度がシア方向で最大になるので、位相抽出のS/Nを良くするためには、走査ユニット5の開口パターンディスク12に形成されている微小開口群の移動方向とシア方向とを一致させるのが良い。

【0065】また、図3に示す実施形態では、共焦点照明、落射照明、透過照明の3種類の照明法のすべてを備えているが、本発明においては3種類の照明光学系をすべて備えている必要はなく、少なくとも1つの照明方法を備えていれば良い。但し、図3に示すように、3種類の照明光学系を備えれば、これらを選択的に使用することにより、あらゆる観察物体から位相情報を抽出することが可能になる。

【0066】また、照明光源に赤外域の光源を用いれば、生体内部等の光を強く散乱する物体を観察する場合に、散乱の影響を小さくすることができ、更にS/Nを向上させることができる。

【0067】第2実施形態

図4は本発明の第2実施形態を示す位相差顕微鏡の概略構成図である。なお、本実施形態における顕微鏡は、被観察物体(標本)1からの光を対物レンズ2で平行光束にし、結像レンズ3によって被観察物体1の像を形成する無限遠補正光学系を結像光学系4内に構成しており、通常の倒立型顕微鏡の構成となっている。

【0068】まず、本実施形態の照明光学系に共焦点照明光学系を用いた場合について説明する。倒立顕微鏡は対物レンズ2と結像レンズ3によって形成された1次像をリレー光学系31により2次像にリレーして倒立像を

形成する構成になっている。リレー光学系 31 は、例えば、リレーレンズの間にミラー 32 を設けて像を倒立させるように構成されている。

【0069】1 次像が形成される位置、即ち、結像光学系 3 の結像面又はその共役面上には、開口パターンディスク 12 の微小開口群が配置されるようにする。そして、1 次像とリレー光学系 31 の間にハーフミラー 33 を配置して共焦点照明光学系 34 からの照明光を、開口パターンディスク 12 の微小開口群を介して標本 1 に照射できるように構成する。共焦点照明光学系 34 内における対物レンズ 2 の瞳と共役な位置に位相差用開口 35 を配置する。そして、リレー光学系 31 内における対物レンズ 2 の瞳と共役な位置、即ち位相差用開口 35 と共役な位置に位相変化装置 36 を配置して位相差観察が可能となるように構成する。

【0070】本実施形態の位相差顕微鏡の場合も、第 1 実施形態で示した微分干渉顕微鏡の場合と同様に、開口パターンディスク 12 の微小開口群を介して標本 1 を共焦点照明し、標本 1 で反射した光を、開口パターンディスク 12 の微小開口群を介して撮像素子 6 で撮像するようにする。走査ユニット 5 の開口パターンディスク 12 に Nipkow Disk を用いると、共焦点効果のある位相差画像が得られる。特に位相差顕微鏡においては、微分干渉顕微鏡ではシアー方向に垂直な方向の検出感度が無いのに対して、方向性の無い位相検出を行うことが可能である。位相変化装置 36 で位相を反転させた 2 枚の位相差画像を撮像して差画像を形成する。これにより共焦点効果のある位相情報の抽出ができる。

【0071】開口パターンディスク 12 の微小開口群の開口パターンとしては、図 5 (a) に示すようなスリット状の開口パターン、図 5 (c) に示すような格子状の開口パターン、図 5 (e) に示すような格子状に形成された円形の開口パターンを用いることにより、微分干渉顕微鏡の実施形態の場合と同様に Nipkow Disk 走査型共焦点顕微鏡で問題となっていた光線からの光の利用効率を改善することができる。また、差画像を形成することにより同時に明視野成分を除去することができるので、図 5 (a), (c), (e) に示す簡素な開口群構成で T. Wilson 等が開示している共焦点顕微鏡と同等な効果を得ることができる。

【0072】生体内部のような光を散乱する度合いの大きな物体を共焦点照明によって観察する場合には、散乱による位相成分の強度低下を補うためにも光源の光の利用効率を改善する必要があるが、図 5 に示すような開口パターンディスク 12 を用いて利用効率を改善すれば、生体内部のような散乱の大きな物体を観察する時に散乱光の影響を低減することができる。

【0073】次に、本実施形態の照明光学系に落射照明光学系を用いた場合について説明する。対物レンズ 2 と結像レンズ 3 の間にハーフミラー 19 を配置し、このハ

ーフミラー 19 を介して落射照明を可能にする落射照明光学系 37 を構成する。落射照明光学系 37 の対物レンズ 1 の瞳と共役な位置に位相差用開口 35' を配置することにより落射位相差観察が可能になる。

【0074】本実施形態では、第 1 実施形態で示した微分干渉顕微鏡の場合と同様に、標本 1 が散乱度合いの大きな物体の場合には、差画像を形成して位相情報を抽出することにより、焦点深度を越えた範囲の光についても強度情報と同様に除去することができ、焦点深度内の情報のみを抽出することができる。

【0075】更に、微小開口群を介して画像を撮像することで、図 1 で示したように焦点深度を越えた範囲の光を減衰させることができるので、撮像する位相差画像の強度情報成分を減衰させることができ、抽出する位相情報の S/N を向上させることができる。従って、通常の落射照明を用いても開口パターンディスク 12 の微小開口群を介して検出した画像から、差画像を形成することにより共焦点顕微鏡と同等な効果を得ることができる。特に、半導体ウエハー上に形成された IC パターンの形状を観察する時などには、段差の大きなパターンによって発生する散乱光の影響を除去することができるので、有効である。また、金属表面に形成された樹脂のような複屈折性のある物体の計測等にも有効である。

【0076】次に、本実施形態に透過照明を用いた場合について説明する。図 4 に示すように、標本 1 を透過照明できるように透過照明光学系 38 を設け、透過照明光学系 38 の対物レンズ 2 の瞳位置と共役な位置に位相差開口 35'' を配置して、透過型位相差顕微鏡を構成する。

【0077】落射照明を用いた場合と同様にして、透過照明を用いた場合も、開口パターンディスク 12 の微小開口群を介して検出した画像から、差画像を形成することにより共焦点顕微鏡と同等の効果を得ることができる。更に、従来は難しいとされていた透過型の共焦点顕微鏡と同等な効果を持つ観察も可能になる。

【0078】なお、微小開口群のパターンを図 5 (a) ~ (f) に示したが、透過照明及び落射照明を用いた場合には、共焦点照明に比べ光の利用効率が格段に良いので、開口パターンディスク 12 に Nipkow Disk を用いても十分な光量を得ることができ、明るく共焦点顕微鏡と同等な効果を持つ画像を得ることができる。また図 5 (b), (d), (f) に示すような遮光領域を持った開口パターンディスクを用いることにより、位相差量が変化している時の画像の影響を低減することができる。

【0079】また、図 4 に示す実施形態では、共焦点照明、落射照明、透過照明の 3 種類の照明法すべてを備えているが、本発明においては 3 種類の照明光学系をすべて備えている必要はなく、少なくとも 1 つの照明方法を備えていれば良い。但し、図 4 に示すように 3 種類の照明光学系を備えれば、これらを選択的に使用することによ

り、あらゆる観察物体から位相情報を抽出することが可能になり、観察する物体の構造により、位相差用開口及び位相変化装置を選択することにより効果的な位相抽出を行うことができる。

【0080】図7に、位相差用開口35、35'、35"及び位相変化装置36の構成例を示す。図7(a)は通常の位相差顕微鏡で用いられている輪帯状の位相差用開口である。これに対応した位相変化装置を図7(b)に示す。図7(a)に示す開口形状と相似な形状に透明電極39、39'を形成し、この透明電極39、39'で液晶素子40を挟み込み位相変化装置を構成する。この液晶素子に印加する電圧を液晶制御装置41で制御して、位相差量を制御する。

【0081】図7(c)に示す位相差用開口は、標本面上での点像の形状がこのパターンを45°回転したような形になり、被観察物体が矩形であるような場合に有効になる。図7(c)に示す位相差用開口に対応した位相変化装置が図7(d)に示す位相変化装置である。図7(e)に示す位相差用開口は扇型の開口であり、この開口に対応した位相変化装置を図7(f)に示す。この開口では、照明が偏斜照明になり、この開口を用いた位相差像は微分干渉顕微鏡のようなレリーフ感のある像になる。よって、図7(e)、(f)に示す位相差用開口及び位相変化装置の組み合わせは、微分干渉のような画像を得たい場合に有効である。

【0082】位相差顕微鏡においても、光源に赤外域の光源を用いれば、散乱光の影響を小さくすることができる。また、シリコンウエハーを透過する赤外域の光源を用いると、シリコンウエハーの透過観察が可能になる。従って、本実施形態の顕微鏡によれば、シリコンウエハー上に形成された積層パターンの内部を観察することが可能になる。しかも、積層されたパターンによる散乱や、シリコンウエハー表面での散乱を除去することができるので、より高精度な積層内部パターンの観察が可能になる。

【0083】更に、本発明において、照明光学系の光源にストロボ光源を用い、光源を点滅させて光源の強度を時間的に変調すると共に、図示省略したコンピュータ等の制御装置を用いてこの光源の点滅時間を開口パターンディスクの回転と同期させるように制御する。このことを図5(a)の開口パターンを例に説明する。図5(a)に示す開口パターンディスク12のスリットの開口部12bと遮光部12cにマーカーを付け、図示省略した制御手段を用いてマーカーが特定の位置に来た時に光源が発光するように同期を制御する。これにより、スリットの開口部が走査されているのと等価な照明になり、共焦点照明を行った場合と同様の効果が得られる。そして、共焦点顕微鏡と同等な効果のある位相検出が可能になる。

【0084】以上説明したように、本発明による光学系

および顕微鏡は、特許請求の範囲に記載した特徴のほか下記の特徴も有する。

【0085】(1)光源と、該光源からの光を被観察物体に導く照明光学系と、被観察物体の像を拡大投影する結像光学系と、結像光学系の結像面又はその共役面上に配置され、光を透過する領域と光を遮光する領域で形成された開口領域を有する回転可能な開口部材と、前記光源からの光を互いに直交する偏光成分に分波する分波手段と、前記結像光学系内に配置され前記分波手段によって分波された偏光成分を合波する合波手段と、前記結像光学系内の合波手段と像面の間に配置された特定の偏光方向のみを抽出する偏光抽出手段と、前記結像光学系の結像面に投影された被観察物体の拡大像を撮像する撮像素子と、該撮像素子によって得られた画像を記憶し、該画像を用いて演算するための画像処理装置と、前記光源から前記分波手段の間又は前記合波手段から前記撮像素子の間に配置された互いに直交する偏光成分の位相差を変化させる位相変化素子を備え、前記開口部材の透過領域は略円形形状を有するとともに不規則な位置に形成され、前記偏光成分の位相差量がほぼ同じで符号の異なる少なくとも2枚の微分干渉画像から各画素毎に差演算を行って差画像を形成するようにしたことを特徴とする光学装置。

【0086】(2)前記開口部材は、前記開口領域に接して形成された遮光領域を有することを特徴とする請求項1、2、上記(1)のいずれかに記載の光学装置。

【0087】(3)照明光学系からの光と結像光学系からの光が、共に前記開口領域を透過することを特徴とする請求項1、2、上記(1)、(2)のいずれかに記載の光学装置。

【0088】(4)駆動部材を有し、前記開口部材は該駆動部材を介して回転し、前記開口領域の移動方向と前記分波手段による偏光成分の分離方向が略同じであることを特徴とする請求項1、2、上記(1)～(3)のいずれかに記載の光学装置。

【0089】(5)位相膜の位相量が可変であることを特徴とする請求項3に記載の顕微鏡。

【0090】(6)結像光学系の結像面又はその共役面に配置された開口部材を介し被観察物体の拡大像を撮像する撮像素子を配置し、位相膜の位相差量がほぼ同じで符号の異なる少なくとも2つの位相差像を撮像し、撮像した位相差像の各画素毎の差演算を行って差画像を形成するようにしたことを特徴とする上記(5)に記載の顕微鏡。

【0091】(7)照明光学系と結像光学系が共に開口部材を透過するようにしたことを特徴とする上記(6)に記載の顕微鏡。

【0092】(8)開口部材が、格子状の微小開口群を有することを特徴とする請求項3、上記(5)～(7)のいずれかに記載の顕微鏡。

【0093】(9) 開口部材が、スリット状の微小開口群を有することを特徴とする請求項3、上記(5)～(7)のいずれかに記載の顕微鏡。

【0094】(10) 開口部材が、不規則に配置された微小開口群を有することを特徴とする請求項3、上記(5)～(7)のいずれかに記載の顕微鏡。

【0095】(11) 開口部材が、複数の微小円形開口群を有することを特徴とする請求項3、上記(5)～(7)のいずれかに記載の顕微鏡。

【0096】(12) 開口部材が、微小開口群と遮光領域とを有することを特徴とする請求項3、上記(5)～(11)のいずれかに記載の顕微鏡。

【0097】(13) 光源は、時間的に強度が変化する光源であることを特徴とする請求項1、2、上記(1)、(2)のいずれかに記載の光学装置及び請求項3、上記(5)、(6)のいずれかに記載の顕微鏡。

【0098】(14) 光源の強度変化と開口部材上の微小開口群の移動が同期していることを特徴とする上記(13)に記載の光学装置及び顕微鏡。

【0099】(15) 散乱物質内に存在する位相分布を観察するようにしたことを特徴とする請求項1、2、上記(1)のいずれかに記載の光学装置及び請求項3、上記(5)、(6)のいずれかに記載の顕微鏡。

【0100】

【発明の効果】以上、本発明の光学装置及び顕微鏡によれば、観察物体の結像面と共役な位置に配置された共焦点開口を介して、リターデーション量が等しく符号の異なる2枚の微分干渉画像を撮像し、この2枚の微分干渉画像から差画像を形成し、位相情報を抽出することにより、共焦点効果と同等な効果を持つ微分干渉画像を得ることができる。特に、散乱の大きな物体を観察した場合でも、散乱光の影響を除去した微分干渉画像を得ることができる。

【0101】同様にして、位相差量が等しく符号の異なる2枚の位相差画像を撮像し、この2枚の位相差画像から差画像を形成し、位相情報を抽出することにより、共焦点効果と同等な効果を持つ位相差画像を得ることができる。散乱の大きな物体を観察した場合でも、散乱光の影響を除去した位相差画像を得ることができる。また、開口パターンにNipkow Diskを用いなくても、簡単な開口パターンと簡素な処理を用いて位相情報を抽出することができる。

【0102】従って、本発明の光学装置及び顕微鏡によれば、高解像でセクショニング効果が高くでき、また、出力画像を得るまでの時間を短縮することができる。また、生体内部のような、光を強く散乱する物体の内部を、蛍光色素を付加することなく観察することができ、更に外乱に強く高解像で観察することができる。更に、生体内部の観察のみならず半導体ウエハー上に形成されたICパターンの積層構造をも観察することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】共焦点顕微鏡の原理説明図である。

【図2】図1の構成に照明光学系を加えた共焦点顕微鏡の説明図である。

【図3】本発明の第1実施形態を示す微分干渉顕微鏡の概略構成図である。

【図4】本発明の第2実施形態を示す位相差顕微鏡の概略構成図である。

【図5】本発明の各実施形態に用いられる開口パターンディスクの開口形状を示す平面図であり、(a)はスリット状の開口パターン、(b)はディスクの一部に遮光領域が設けられた、スリット状の開口パターン、(c)は格子状の開口パターン、(d)はディスクの一部に遮光領域が設けられた、格子状の開口パターン、(e)は格子状に形成された円形の開口パターン、(f)はディスクの一部に遮光領域が設けられた、格子状に形成された円形の開口パターンをそれぞれ示す。

【図6】(a)、(b)、(c)、(d)は本発明の第1実施形態の微分干渉顕微鏡に用いられる位相変化装置の構成をそれぞれ示す図である。

【図7】(a)、(b)、(c)は本発明の第2実施形態の位相差顕微鏡に用いられる位相変化装置の構成及び位相差用開口の形状をそれぞれ示す図である。

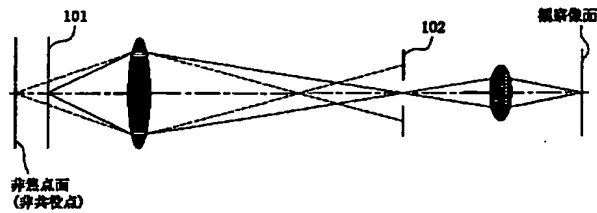
【符号の説明】

- | | |
|--------------|------------------|
| 1 | 標本(被観察物体) |
| 2 | 対物レンズ |
| 3 | 結像レンズ |
| 4 | 結像光学系 |
| 5 | 走査ユニット |
| 6 | 撮像素子 |
| 7, 31 | リレー光学系 |
| 8, 19, 33 | ハーフミラー |
| 9, 34 | 共焦点照明光学系 |
| 10, 23 | ノマルスキープリズム |
| 11 | 検光子 |
| 12 | 開口パターンディスク(開口部材) |
| 12a | 遮光領域 |
| 12b | 開口部 |
| 12c | 遮光部 |
| 13 | モータ(回転駆動部材) |
| 14, 14', 14" | (微分干渉顕微鏡用)位相変化装置 |
| 15 | 記憶・演算装置 |
| 16 | 表示装置 |
| 17, 17', 17" | (照明)光源 |
| 18, 18', 18" | 集光レンズ |
| 20, 37 | 落射照明光学系 |
| 21, 38 | 透過照明光学系 |
| 22 | コンデンサーレンズ |
| 24 | $\lambda/4$ 板 |

21

- 25 偏光子
26 モータ
27, 41 液晶制御装置
29 電気光学素子
30 制御装置
32 ミラー

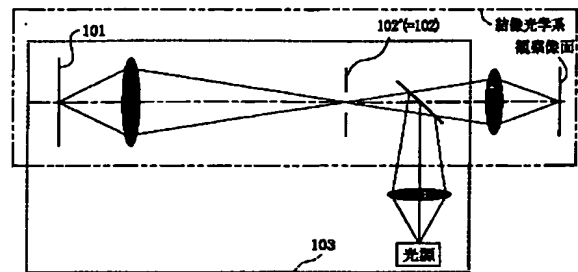
【図 1】



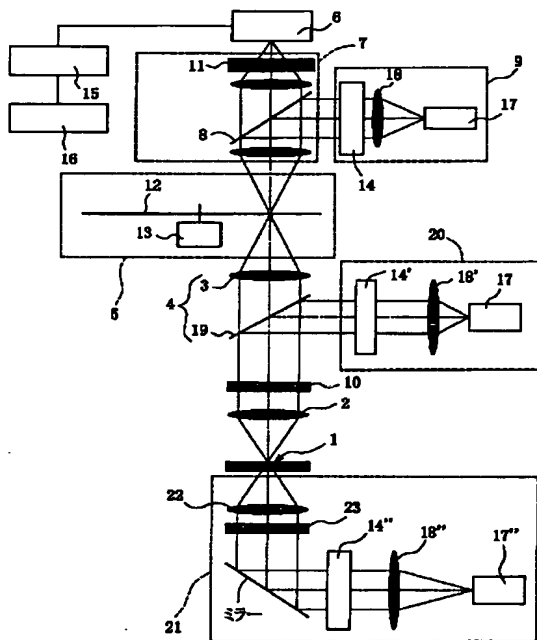
22

- 35, 35', 35'' 位相差用開口
36 (位相差顕微鏡用) 位相変化装置
39, 39' 電極
40 液晶素子
101 被観察物体面
102, 102' 共焦点開口

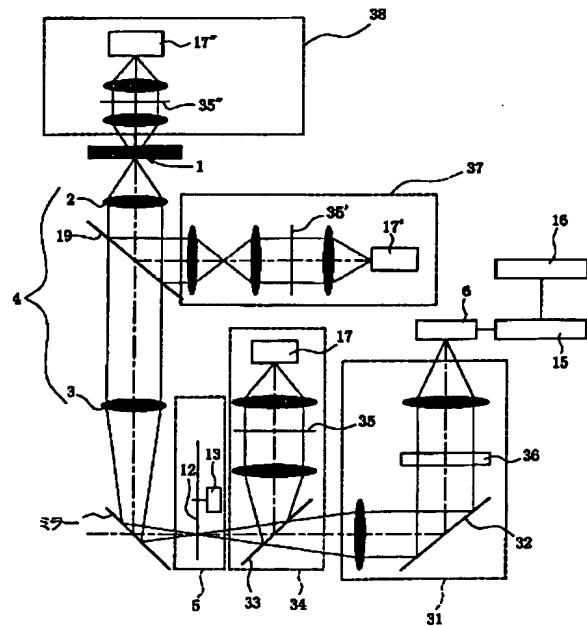
【図 2】



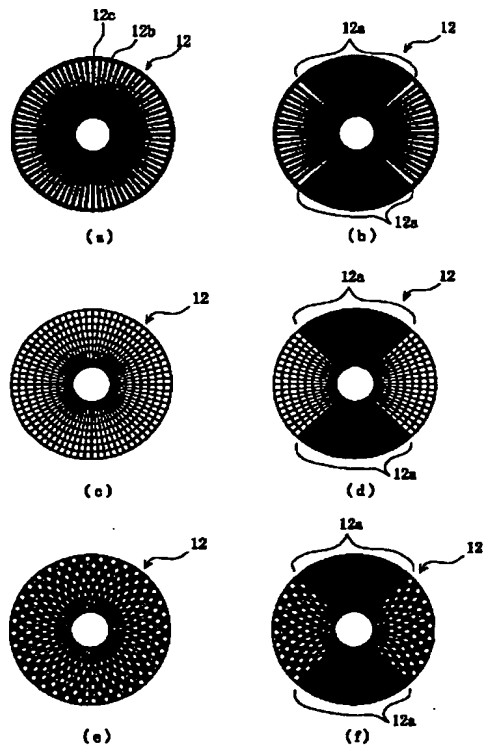
【図 3】



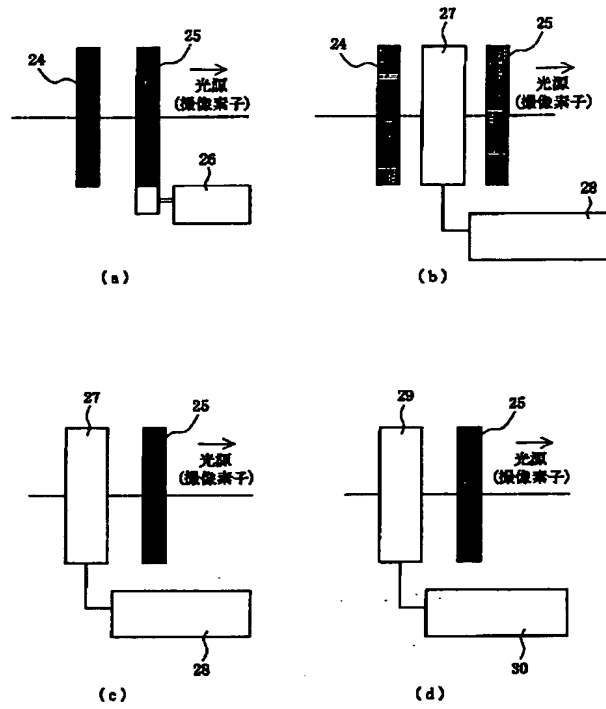
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【図 7】

